

Producing em radiation by frequency conversion

Publication number: DE4342783 (A1)

Publication date: 1995-06-22

Inventor(s): HILLRICHS GEORG DR [DE]; NEU WALTER DR [DE]

Applicant(s): LASER LAB GOETTINGEN EV [DE]

Classification:

- international: **G02B6/26; G02F1/37; G02B6/26; G02F1/35;** (IPC1-7): G02F1/35; B23K26/06; G02F1/37; H04B10/00

- European: G02B6/26C; G02F1/37

Application number: DE19934342783 19931215

Priority number(s): DE19934342783 19931215

Cited documents:

DE4009160 (C2)

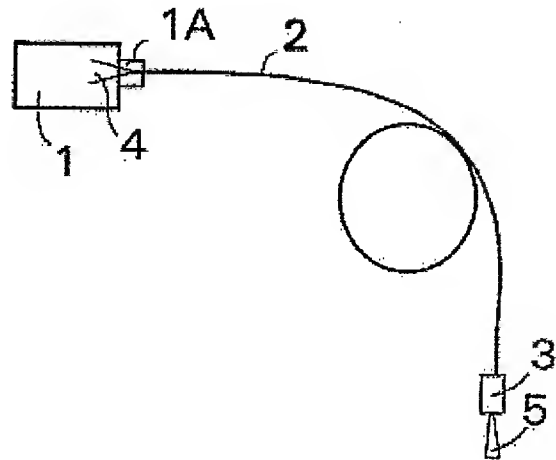
DE4214766 (A1)

DE4038503 (A1)

WO9112556 (A1)

Abstract of DE 4342783 (A1)

The method for producing electromagnetic radiation by means of frequency conversion is characterised by the fact that a frequency-converted light beam (5) is produced out of one or several light beams (4) transmitted by means of a light wave guide (2). The apparatus is characterised by the presence of an optical conversion unit (3).



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 43 42 783 A 1

⑤① Int. Cl.⁶:
G 02 F 1/35
G 02 F 1/37
B 23 K 26/06
H 04 B 10/00

⑳ Aktenzeichen: P 43 42 783.9
㉑ Anmeldetag: 15. 12. 93
㉒ Offenlegungstag: 22. 6. 95

DE 43 42 783 A 1

㉑ Anmelder:
Laser-Laboratorium Göttingen eV, 37077 Göttingen,
DE

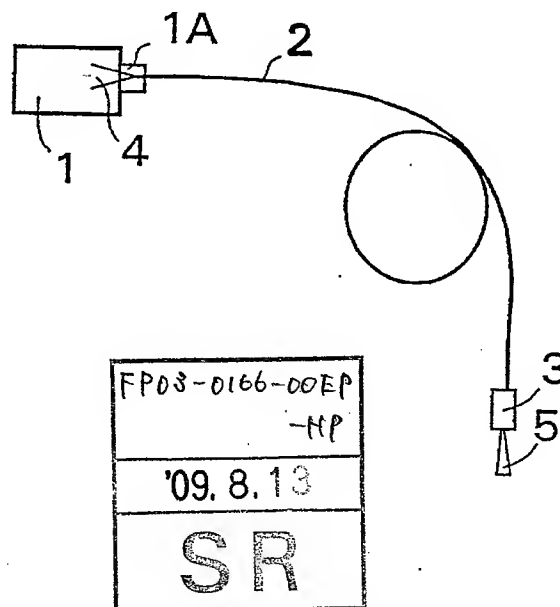
㉒ Vertreter:
von Bezold, D., Dr.rer.nat.; Schütz, P., Dipl.-Ing.;
Heusler, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 80333 München

㉑ Erfinder:
Hillrichs, Georg, Dr., 37133 Friedland, DE; Neu,
Walter, Dr., 37085 Göttingen, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Frequenzkonversion am Auskoppelende von Lichtwellenleitern

⑤⑦ Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Frequenzkonversion von Licht am Auskoppelende von optischen Wellenleitern. Dabei wird Strahlung, insbesondere Strahlung von hoher Intensität, mit einer Wellenlänge, die für die Übertragung durch Lichtwellenleiter geeignet ist, durch den Lichtwellenleiter geführt. Die durch den Lichtwellenleiter nicht übertragbare Wellenlänge wird am Austrittsende durch nichtlinear-optische Wellenlängenkonversion erzeugt.



DE 43 42 783 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 95 508 025/151

7/30

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung frequenzkonvertierter Strahlung nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung zu seiner Durchführung. Insbesondere betrifft die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Erzeugung von ultraviolett oder infrarotem Licht am Austrittsende eines Lichtwellenleiters durch nichtlinear-optische Konversion des durch den Lichtwellenleiter übertragenen Lichtes.

Die Eigenschaften von Lichtwellenleitern, insbesondere die von Quarzglasfasern, sind stark abhängig von der Wellenlänge des zu übertragenden Lichtes. Die Dämpfung des Fasermaterials steigt mit abnehmender Wellenlänge λ in erster Linie durch Rayleighstreuung stark an (λ^{-4}). Darüberhinaus können einzelne Absorptionsbanden in bestimmten Wellenlängenbereichen die Dämpfung stark erhöhen.

Im UV-Bereich entstehen außerdem Verluste durch die vom übertragenen Licht induzierte Bildung von Farbzentren im Quarzmaterial des Faserkernes. Diese Zentren führen zu einer zusätzlichen, teilweise irreversiblen Dämpfung (Alterungseffekte, Photodegradation).

Aus diesen Gründen ist die Führung von ultraviolett Licht mit Problemen behaftet. Aufgrund der Dämpfung können nämlich je nach UV-Wellenlänge nur Übertragungslängen von wenigen cm bis wenigen m erreicht werden.

Andererseits wird UV-Licht sehr oft, z. B. bei Fluoreszenzmessungen an bestimmten Proben als Anregungswellenlänge benötigt. Experimente dieser Art können nach dem Stand der Technik nicht unter Einsatz der Glasfasertechnik durchgeführt werden und unterliegen damit großen Einschränkungen.

Auf der anderen Seite des sichtbaren Spektralbereichs sind im Infrarotbereich für Wellenlängen größer als 2 μm ebenfalls keine Lichtwellenleiter mit brauchbaren Übertragungseigenschaften erhältlich. Gerade in diesem Wellenlängenbereich gibt es Anwendungen z. B. für den absorptionspektroskopischen Nachweis von bestimmten Molekülen in der Umweltanalytik oder in der Prozeßsteuerung, die durch faseroptische Sensoren gelöst werden könnten.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit denen die Vorteile der Glasfasertechnik auch für Anwendungen in solchen Spektralbereichen nutzbar gemacht werden können, für die bis jetzt keine geeigneten Lichtwellenleiter zur Verfügung stehen.

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Mit der vorliegenden Erfindung wird eine sehr kompakte Anordnung vorgeschlagen, die es erlaubt, ein fast beliebig weit von der Lichtquelle entferntes Teilvolumen einer zu analysierenden Probe mit Anregungslicht zu beleuchten. Die Probleme der Übertragung von UV- oder IR-Licht in Glasfasern werden dadurch umgangen, daß sichtbares Licht in der Glasfaser weitgehend dämpfungsfrei übertragen und am Faserende durch eine kompakte optische Anordnung in UV- oder IR-Licht konvertiert wird.

Im folgenden wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines faseroptischen Systems mit frequenzkonvertierter Strahlung am

Ausgang des Lichtwellenleiters;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer bevorzugten Ausführungsform der optischen Anordnung für die Frequenzkonversion am Auskoppelende des Lichtwellenleiters.

In Fig. 1 ist eine Ausführungsform eines faseroptischen Systems gemäß der vorliegenden Erfindung schematisch dargestellt.

Eine Strahlungsquelle 1 emittiert ein Strahlungsbündel 4 im sichtbaren Spektralbereich, das durch ein an der Ausgangsseite der Strahlungsquelle 1 montiertes Koppelglied 1A in einen Lichtwellenleiter 2 eingekoppelt wird. Der Lichtwellenleiter 2 ist an seinem anderen Ende mit einer optischen Konversionseinheit 3 verbunden, in der das Licht aus dem Lichtwellenleiter 2 ausgekoppelt und ein frequenzkonvertiertes Strahlungsbündel 5 erzeugt wird.

Als Strahlungsquelle 1 können eine oder mehrere geeignete Strahlungsquellen im sichtbaren oder nahen Infrarotbereich, z. B. Laserstrahlquellen, verwendet werden. Mehrere, voneinander verschiedene Wellenlängen werden vor allem dann benötigt, wenn die gewünschte, konvertierte Strahlungsfrequenz durch Summenfrequenz- oder Differenzfrequenzbildung konvertiert wird. Für eine Frequenzverdopplung reicht das Einkoppeln einer Wellenlänge, also die Verwendung einer Strahlungsquelle aus.

Ferner kann die Strahlungsquelle 1 im Dauerstrich- oder im Pulsbetrieb arbeiten. Da der Wirkungsgrad der Frequenzverdopplung proportional mit dem Quadrat der Strahlungsintensität ansteigt, empfiehlt sich jedoch meistens ein gepulster Betrieb, z. B. eines Nd:YAG-Lasers. Als Lichtwellenleiter 2 kann z. B. eine Quarzglasfaser verwendet werden. Je nach Anwendung können Singlemode-Lichtwellenleiter oder Multimode-Lichtwellenleiter verwendet werden. Weiterhin können Stufenindex- oder Gradientenindex-Lichtwellenleiter zum Einsatz kommen. Ferner kann ein polarisationserhaltender Lichtwellenleiter verwendet werden. Für eine optimale Einkopplung von Strahlung mit besonders hoher Intensität bieten sich Lichtwellenleiter mit einem trichterförmigen Einkoppelstück (Taperfaser) an. Gegebenenfalls kann auch die Verwendung von Bündeln von Lichtwellenleitern anstelle einzelner Lichtwellenleiter geeignet sein. Auch die Verwendung von Flüssigkeits-Lichtwellenleitern kann gegenüber Glasfasern eine sinnvolle Alternative sein.

Der Lichtwellenleiter 2 ist an seinem distalen Ende mit einer optischen Konversionseinheit 3 verbunden, in der die aus dem Lichtwellenleiter ausgekoppelte sichtbare Strahlung frequenzkonvertiert wird. Aus der optischen Konversionseinheit 3 tritt somit ein frequenzkonvertiertes Strahlungsbündel 5 aus.

In der Fig. 2 ist eine mögliche Ausführungsform der optischen Konversionseinheit 3 in ihren Einzelheiten dargestellt.

Die Einheit 3 weist eingangsseitig eine Lichtwellenleiter-Halterung 31 zur Aufnahme des Lichtwellenleiters 2 auf. Durch die Halterung 31 wird der Lichtwellenleiter 2 in das Innere der Einheit 3 geführt. Kurz hinter dem Halterung 31 endet der Lichtwellenleiter 2. Das sichtbare Licht tritt aus dem Lichtwellenleiter 2 aus und durchstrahlt eine Kollimationsoptik, deren Aufgabe es ist, die Strahlung zu kollimieren und auf einen Verdoppler-Kristall 35 zu fokussieren. Die Kollimationsoptik enthält eine kurzbrennweitige Linse 32 zur Parallelisierung der divergenten Strahlung. Das Strahlungsbündel wird anschließend durch eine Plankonvexlinse 33 mit wenigen

cm Brennweite auf den Verdoppler-Kristall 35 fokussiert. Zwischen den Linsen 32 und 34 kann ein Polarisator 33 zur Definition der Polarisationsrichtung vorgesehen sein. Der Verdoppler-Kristall kann z. B. ein BBO- (β-Bariumborat-)Kristall oder ein KDP- (Kalium-Dihydrogen-Phosphat-)Kristall sein. Hinter dem Verdoppler-Kristall 35 ist eine Linse 36 zur Parallelisierung des frequenzkonvertierten Lichts angebracht. Die Linsen 32, 34 und 36 können z. B. auch korrigierte Linsensysteme (z. B. sphärisch korrigierte Achromate) sein. Es können auch Zylinderlinsen zur Anpassung des aus dem Lichtwellenleiter austretenden Lichtes an den frequenzkonvertierenden Kristall verwendet werden. Auch die Verwendung von holographisch-optischen Elementen oder Gradientenlinsen ist eine denkbare Alternative. Am Ausgang der Konversionseinheit 3 befindet sich ein optisches Filter 37, das nur das frequenzkonvertierte Licht hindurchläßt, die verbleibenden Anteile der Eingangsstrahlung hingegen unterdrückt. Am Ausgang erhält man also ein frequenzkonvertiertes Strahlungsbündel.

Der erzielbare Wirkungsgrad der Konversion hängt von den Eigenschaften der Strahlungsquelle 1 (Energie, Leistung, Bandbreite etc.) von den Eigenschaften des Lichtwellenleiters 2 (Single/Multimodefaser, Polarisationserhaltung, Brechzahl, numerische Apertur, Durchmesser etc.) und von dem nichtlinear-optischen Material, (z. B. Kristalltyp, Kristallschnitt, Geometrie etc.) ab. Diese Parameter sind an die jeweilige Anwendung anzupassen. Da die Übertragung sehr großer Laserenergien in geeigneten Spektralbereichen bei niedriger Grunddämpfung und ohne Alterungsprozesse des Lichtwellenleiters möglich ist, kann auch bei beschränktem Wirkungsgrad der Konversion für viele Anwendungen (z. B. Fluoreszenz-, Absorptions- oder Ramanspektroskopie in der faseroptischen Sensorik) eine genügend hohe Lichtintensität der gewünschten Wellenlänge generiert werden.

Bei Analyseverfahren der optischen Sensorik werden bestimmte optisch erfassbare Parameter, wie z. B. die Fluoreszenz, gemessen, die Rückschlüsse auf bestimmte physikalische oder chemische Eigenschaften erlauben. Bei Messungen dieser Art hat man häufig das Problem, daß die Anregungsstrahlung, z. B. von einem Laser, nur ein eng umgrenztes und u. U. schwer zugängliches Teilvolumen einer zu analysierenden Probe beleuchten soll. In solchen Fällen setzt man im Stand der Technik erfolgreich Glasfasern ein, die zum einen sichtbare Strahlung hinreichend dämpfungsfrei führen können und zudem biegsam und flexibel sind, so daß deren Faserende an jeden beliebigen Meßort gebracht werden kann.

Eine beispielhafte praktische Ausführungsform zur Erzeugung von UV-Licht bei 266 nm am distalen Faserende wurde mit folgenden Eigenschaften realisiert:
 Laserquelle: $\lambda = 532$ nm, gepulst, Pulsdauer 20 nsec, Pulsenergie 1 mJ am distalen Faserende
 Lichtwellenleiter: Quarz, Kerndurchmesser 200 μ m, $1 = 10$ m, NA = 0.22

Optik: Achromat, $f = 10$ mm als Kollimator ggf. Polarisator zur Definition der Polarisationsrichtung
 Frequenzverdopplender Kristall BBO 4 mm • 4 mm • 7 mm (B • H • L) Plankonvexlinse ($f = 40$ mm) zur Einkopplung des Lichtes in den Verdopplerkristall
 Farbglasfilter zur Unterdrückung des verbleibenden Lichtes der Wellenlänge 532 nm.

Als eine mögliche Anwendung sei hier ein Beispiel aus der Umweltanalytik genannt — der Fluoreszenzspektroskopische In-Situ-Nachweis von aromatischen

Kohlenwasserstoffen z. B. in Gewässern mit einem faseroptischen Sensor. Geeignete Anregungswellenlängen liegen im UV-Bereich um 270 nm. Das Licht eines frequenzverdoppelten Nd:YAG-Lasers ($\lambda = 532$ nm) wird in einen Lichtwellenleiter eingekoppelt und zu dem Ort geführt, wo die Kontamination detektiert werden soll. Am distalen Ende des Sensors wird das Licht mit einer Optik nach Fig. 2 teilweise in UV-Licht der Wellenlänge 266 nm konvertiert. Das mit dieser Wellenlänge angeregte Fluoreszenzleuchten wird ebenfalls durch einen Lichtwellenleiter zu einem geeigneten Detektionssystem geführt und analysiert. So lassen sich Aussagen über Art und Konzentration der Kontamination gewinnen, ohne daß Probenentnahme erforderlich ist.

Weitere Anwendungen können sich z. B. in der Lasermedizin bei der intrakorporalen Anwendung von Licht oder in der Materialbearbeitung ergeben.

Neben der in den Figuren gezeigten derzeit bevorzugten Ausführungsform sind noch andere Ausführungsformen denkbar.

Es kann z. B. als Strahlungsquelle ein sogenannter Faserlaser verwendet werden, bei dem das Laserlicht direkt in der Faser erzeugt wird. Zu diesem Zweck könnte der Lichtwellenleiter in einem Abschnitt mit Seltenerdeatomen dotiert sein. Auf diese Weise erspart man sich den Aufbau einer eigenen Laserstrahlungsquelle.

In einer weiteren Ausführungsform wird die Frequenzkonversion direkt in dem Lichtleiter durchgeführt. Zu diesem Zweck wird als Lichtwellenleiter eine Glasfaser verwendet und ein Endabschnitt der Glasfaser derart behandelt, daß nichtlinear-optische Eigenschaften erzeugt werden. Auch dies kann z. B. durch geeignete Dotierung erreicht werden.

Statt dessen könnte bei dieser Ausführungsform der Lichtwellenleiter auch als Kanalwellenleiter ausgebildet sein.

Durch Kombination der letztgenannten Ausführungsformen erhält man ein integriert optisches Meßsystem auf Basis der Glasfasertechnik.

Als Konversionseinheit 3 kann auch ein monolithischer Resonator verwendet werden. Dabei handelt es sich um eine spezielle Ausführungsform des nichtlinear-optischen Kristalls, bei dem das aus dem Lichtwellenleiter austretende Licht eingestrahlt und durch Totalreflexion oder durch Reflexion an verspiegelten Kristallflächen auf einer langen, meist ringförmigen Strecke geführt und dabei teilweise frequenzkonvertiert wird. An einem Reflexionspunkt wird dann ein Teil des frequenzkonvertierten Lichtes ausgekoppelt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von elektromagnetischer Strahlung durch Frequenzkonversion, dadurch gekennzeichnet, daß aus einem oder mehreren in einem Lichtwellenleiter (2) geführten Strahlungsbündeln (4) ein frequenzkonvertiertes Strahlungsbündel (5) erzeugt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge des frequenzkonvertierten Strahlungsbündels (5) im ultravioletten Spektralbereich liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenlänge des frequenzkonvertierten Strahlungsbündels (5) im infraroten Spektralbereich liegt.
4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß aus einem Strahlungsbündel

- (4) mit einer bestimmten Strahlungsfrequenz ein frequenzkonvertiertes Strahlungsbündel (5) mit der doppelten Strahlungsfrequenz des Strahlungsbündels (4) erzeugt wird.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß aus zwei Strahlungsbündeln (4) mit voneinander verschiedenen Strahlungsfrequenzen ein frequenzkonvertiertes Strahlungsbündel (5) mit der Summenfrequenz der Strahlungsbündel (4) erzeugt wird.
6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß aus zwei Strahlungsbündeln (4) mit voneinander verschiedenen Strahlungsfrequenzen ein frequenzkonvertiertes Strahlungsbündel (5) mit der Differenzfrequenz der Strahlungsbündel (4) erzeugt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das frequenzkonvertierte Strahlungsbündel (5) außerhalb des Lichtwellenleiters (2) erzeugt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das frequenzkonvertierte Strahlungsbündel (5) innerhalb des Lichtwellenleiters (2) erzeugt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Strahlungsbündel (4) in außerhalb des Lichtwellenleiters (2) befindlichen Strahlungsquellen (1) erzeugt werden.
10. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das oder die Strahlungsbündel (4) im Lichtwellenleiter (2) selbst erzeugt werden.
11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Lichtwellenleiter (2) zur Führung eines oder mehrerer Strahlungsbündel (4) und eine optische Konversionseinheit (3) zur Erzeugung eines frequenzkonvertierten Strahlungsbündels (5).
12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Konversionseinheit (3) ein nichtlineares optisches Material (35) enthält.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das nichtlineare optische Material (35) einen Verdoppler-Kristall enthält.
14. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die optische Konversionseinheit (3) am Austrittsende des Lichtwellenleiters (2) angeordnet ist.
15. Vorrichtung nach den Ansprüchen 12 und 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Konversionseinheit (3) eine Linse (33) zur Parallelisierung des oder der aus dem Austrittsende des Lichtwellenleiters (2) austretenden Strahlungsbündel (4) enthält.
16. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Konversionseinheit (3) eine Linse (34) zur Fokussierung des oder der Strahlungsbündel (4) in den Verdoppler-Kristall (35) und eine Linse (36) zur Parallelisierung des frequenzkonvertierten Strahlungsbündels (5) enthält.
17. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Konversionseinheit (3) holographisch-optische Elemente und/oder Gradientenlinsen enthält.
18. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen (33, 34, 36) Gradientenlinsen sind.
19. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen (33, 34, 36) Gradientenlinsen sind.
20. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen (33, 34, 36) Gradientenlinsen sind.
21. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen (33, 34, 36) Gradientenlinsen sind.
22. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen (33, 34, 36) Gradientenlinsen sind.
23. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen (33, 34, 36) Gradientenlinsen sind.
24. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen (33, 34, 36) Gradientenlinsen sind.
25. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen (33, 34, 36) Gradientenlinsen sind.
26. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Linsen (33, 34, 36) Gradientenlinsen sind.

- (3) entweder ein entsprechend dotierter Abschnitt des Lichtwellenleiters (2) ist oder als Kanalwellenleiter ausgebildet ist.
19. Vorrichtung nach Anspruch 11, gekennzeichnet durch eine oder mehrere außerhalb des Lichtwellenleiters (2) befindliche Strahlungsquellen (1) zur Erzeugung des oder der Strahlungsbündel (4).
20. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter (2) eine Strahlungsquelle (1) enthält und daß die Strahlungsquelle (1) ein entsprechend dotierter Abschnitt des Lichtwellenleiters (2) ist.
21. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter (2) eine Glasfaser ist.
22. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter (2) ein Multimode-Lichtwellenleiter ist.
23. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter (2) ein Singlemode-Lichtwellenleiter ist.
24. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter (2) polarisationserhaltend ist.
25. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter (2) eine Tapfaser ist.
26. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der Lichtwellenleiter (2) ein Bündel mehrerer Lichtwellenleiter ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1

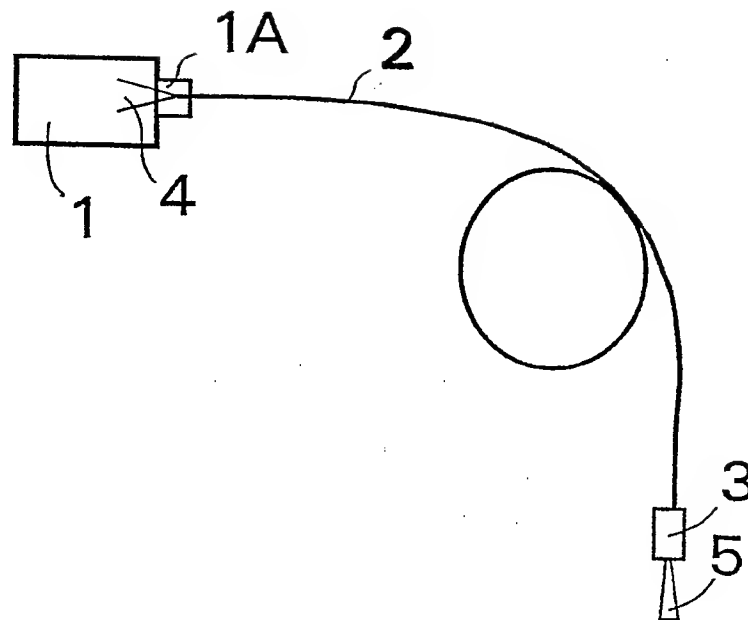


Fig. 2

